



**Kandidatarbeten
i skogsvetenskap**
Fakulteten för skogsvetenskap

2019:24

Ekonomisk jämförelse av röjningsmetoderna rotryckning och motormanuell röjning i Götaland och södra Norrland

Economic comparison of uprooting versus motor manual
cleaning in Götaland and southern Norrland



Foto: Jussi Manner

Jacob Sundström & Torben Svensson



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Jacob Sundström & Torben Svensson
Titel, Sv	Ekonomisk jämförelse av röjningsmetoderna rotryckning och motormanuell röjning i Götaland och södra Norrland
Titel, Eng	Economic comparison of uprooting versus motor manual cleaning in Götaland and southern Norrland
Nyckelord/ Keywords	Rotryckare, Mekaniserad röjning, Nuvärdesanalys, Pre-commercial thinning, Uprooter, Mechanical cleaning, Net present value analysis.
Handledare/Supervisor Bitr. Handledare	Torgny Lind, Institutionen för skoglig resurshushållning. Back Tomas Ersson, Skogsmästarskolan.
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0911
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2019
Serie	Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

FÖRORD

Detta kandidatarbete på 15 hp på grundnivå har genomförts vid institutionen för skoglig resurshushållning och skogsmästarskolan vid SLU.

Vi vill tacka vår handledare Torgny Lind, SLU vid institutionen för skoglig resurshushållning för ovärderlig kunskap och stöttning. Vi vill även tacka bitr. handledare Back Tomas Ersson, Skogsmästarskolan för all hjälp han gett oss. Dessutom ska Jussi Manner vid Skogforsk ha ett tack för stor behjälplighet och tillhandahållande av data.

Jacob Sundström och Torben Svensson
Umeå 2019

SAMMANFATTNING

En ökande brist på arbetskraft har lett till en kostnadsökning för motormanuell röjning. Mekaniserad röjning har prövats ända sedan 1970-talet, men aggregat som kapar eller klipper av röstammarna är för kostsamma och bidrar inte till att förlänga röjningseffekten och är därför inte konkurrenskraftiga. En ny metod för tidig mekaniserad röjning som provats är rotryckning med kranspetsmonterat aggregat.

Tidig röjning kan göra att stubbskott från lövträden växer ikapp huvudstammarna och att en ny röjning blir nödvändig. Skotten växer lättare ikapp huvudstammarna på höga boniteter. Vid rotryckning har lövträden som rycks bort ingen möjlighet att skjuta skott igen.

Syftet med studien var att utföra en jämförande nuvärdesanalys av skötselprogram med rotryckning och motormanuell röjning. Detta gjordes på bestånd med ståndortsindex från T16 till T28, samt G16 till G32. Från kalmare och upp till en aritmetisk medelhöjd om cirka sex meter så räknades allt manuellt. Från sex meter och fram till slutavverkning gjordes simuleringar i Heureka StandWise som sedan räknade ut nuvärden. Prestationer för motormanuell röjning beräknades och jämfördes mot rotryckning.

Rotryckning utfördes till en lägre kostnad än motormanuell röjning för bestånd med ståndortsindex G24, G28 och G32. För en hel omloppstid så gav rotryckning det högsta nuvärdet för granbestånd från G24 och högre. För tallbestånd gav skötselprogram med motormanuell röjning alltid det högsta nuvärdet. Det gjordes sedan en känslighetsanalys där produktiviteten för rotryckning och kostnaden för motormanuell röjning justerades. Känslighetsanalysen indikerade att en liten höjning av produktiviteten för rotryckning skulle göra röjningsmetoden konkurrenskraftig även i glesare bestånd såsom granbestånd med lägre ståndortsindex samt tallbestånd. Heureka StandWise saknar funktioner för inväxning av stubb- och rotskott, stubb- och rotskott har en betydande roll i inväxten på röjda bestånd och resultaten från Heureka StandWise kan därmed vara något osäkra.

Nyckelord: Rotryckare, Mekaniserad röjning, Nuvärdesanalys

SUMMARY

An increasing shortage of labor has led to an increase in costs for motor manual cleaning. Mechanized cleaning has been studied since the 1970s, but devices that cut or trim the cleaning stems were too expensive and did not contribute to retain the cleaning effect. A new method for mechanized cleaning that has been tested is uprooting with a crane tip mounted device.

Early cleaning can cause stump shoots from deciduous trees that catch up on the main stems and a second cleaning becomes necessary. The shoots are easier catching up on the main stems at higher site indexes. When uprooting has been done deciduous trees that have been removed have no opportunity to shoot new stems again.

The objective of the study was to compare the net present-value of uprooting with motor-manual cleaning. This comparison was done on sites with sites indexes from T16 to T28, and G16 to G32. From bare land and up to an arithmetic average height of about six meters, everything was counted manually. From six meters up to final felling, simulations were made in Heureka StandWise which calculated the net present values automatically. Motor manual cleaning performance was calculated and compared to uprooting.

Uprooting was performed at a lower cost than motor-manual cleaning on sites with site index G24, G28 and G32. For an entire rotation period, uprooting gave the highest net present value on spruce sites from G24 and higher. For pine sites, pre-commercial thinning programs with motor manual cleaning always gave the highest net present value. A sensitivity analysis was made by adjusting the productivity for uprooting and the cost of motor manual cleaning. The sensitivity analysis indicated that a slight increase in productivity for uprooting would make the cleaning method competitive even on less fertile spruce sites and on pine sites. Heureka StandWise has no functions for ingrowth of stump and root shoots, stump and root shoots have a significant role in the growth of cleaned sites and the results from Heureka StandWise can be uncertain.

Keywords: Pre-commercial thinning, Uprooter, Mechanical cleaning, Net present value analysis

Innehållsförteckning

1 INLEDNING.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Röjningens effekter	1
1.3 Stubb- och rotskott.....	1
1.4 Fröföryngring	2
1.5 Rottryckning.....	2
1.6 Syfte	3
2 MATERIAL OCH METODER.....	4
2.1 Generellt	4
2.2 Kostnader för markberedning och plantering.....	5
2.4 Röjningsprogram.....	6
2.5 Simuleringar i Heureka StandWise.....	11
2.6 Känslighetsanalyser	12
3 RESULTAT	13
3.1 Röjningsmetod.....	13
3.2 Nuvärde över en omloppstid	14
3.3 Känslighetsanalys av röjningsprogram.....	16
4 DISKUSSION	20
4.1 Produktivitet och kostnader	20
4.2 Studiens styrkor och svagheter	20
4.3 Vidare studier.....	21
4.4 Slutsatser.....	22
REFERENSER.....	23
Muntliga källor.....	25
Bilagor	26
Bilaga 1. Indata till Heureka StandWise	26
Bilaga 2. Kalkylering av maskinkostnader vid drivning, generella formler	27
Bilaga 3. Simulerade driftskostnader Komatsu 951 / John Deere 1470G	28
Bilaga 4. Nuvärden för en omloppstid	29
Bilaga 5. Känslighetsanalys av produktivitetsökning för rottryckning för bestånd med SI G24.....	30
Bilaga 6. Känslighetsanalys av kostnadsökning för motormanuell röjning för bestånd med SI G24	31
Bilaga 7. Känslighetsanalys av produktivitetsökning för rottryckning för bestånd med SI T28	32
Bilaga 8. Känslighetsanalys av kostnadsökning för motormanuell röjning för bestånd med SI T28.....	33

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

En ökande brist på arbetskraft har lett till en kostnadsökning för motormanuell röjning (Manner et al., 2018). I Sverige har trenden över de senaste 20 åren varit en stigande röjningskostnad (SLU, 2019). Enligt Saksa och Hallongren (2014) har kostnaderna för röjning i Finland närmare dubblats under de senaste två decennierna. I Sverige ökade röjningskostnaden med 31 % från 1998 till 2017 (Skogsstyrelsen och skogforsk, 2018).

Försök att minska kostnaderna för skogsvårdsåtgärden har genom historien utförts med såväl mekanisk som kemisk röjning (Pettersson et al., 2012). Under 1950-talet introducerades röjsågen (Callin, 1957) och ända sedan 1970-talet har skogsbruket undersökt möjligheterna till mekaniserad röjning (Berg, 1973). Saksa och Hallongren (2014) menar att mekaniserad röjning måste ge en högre kostnadseffektivitet och produktivitet än motormanuell röjning samtidigt som arbets kvaliteten upprätthålls. Enligt Rantala och Kautto (2011) är maskinell röjning dock en så pass dyr skogsvårdsåtgärd att det oftast måste kunna motiveras med bättre arbets kvalitét, vilket i det fallet definieras som en längre ihållande röjningseffekt. Tidig maskinell röjning utförd med traditionell metodik såsom kapning, klippning eller sågning bidrog dock inte till att förlänga röjningseffekten och var därför inte konkurrenskraftig (Rantala & Kautto, 2011).

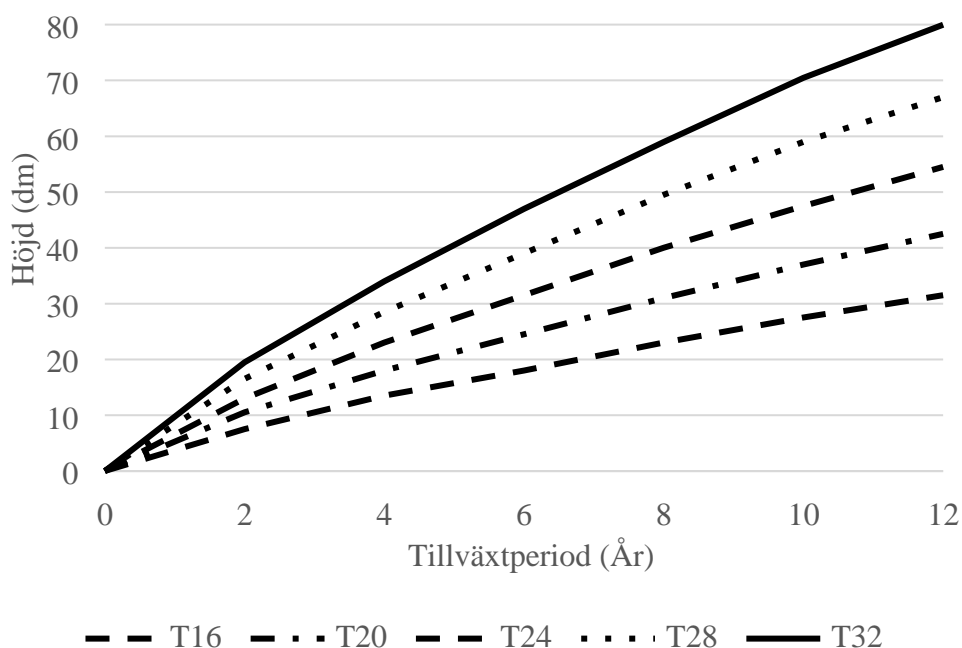
1.2 Röjningens effekter

Röjning är en skogsvårdsåtgärd där en del stammar röjs bort vilket gör att tillväxtresurserna fördelas på ett färre antal kvarvarande stammar. Dessa trädets tillväxt påverkas därmed av röjningen så att det enskilda trädets diametertillväxt ökar. Höjdtillväxten påverkas däremot i regel ej. En tidig röjning ger i regel, i jämförelse med en sen röjning, en lägre röjningskostnad, grövre kvist, mer gagnvirke, risk för sämre kvalitet och sannolikt större risk för allvarliga älgskador (Pettersson et al., 2012). Tidig röjning kan även medföra att stubbskott från lövträden kommer ikapp huvudstammarna och att en ny röjning blir nödvändig (Björkdahl, 1983). Om björken tillåts växa fritt i en barrplantering finns en stor risk att barrträdens utveckling hämmas på grund av konkurrens eller att mekaniska piskskador uppstår (Wahlgren, 1922).

1.3 Stubb- och rotskott

Stubb- och rotskott är adventivskott som uppkommer när huvudskottet avlägsnas. Uppkomsten av stubbskott varierar med ståndort och skotten växer oftare ifatt huvudstammarna på höga boniteter (Pettersson et al., 2012). Arter som bildar rotskott är bland annat gråal (*Alnus incana*) och asp (*Populus tremula*), skotten uppkommer främst från de finare rötterna (0,5–2 cm) (Almgren & Brusewitz, 1990). De arter som bildar stubbskott är bland annat björkar (*Betula*) och klibbal (*Alnus glutinosa*) (Almgren & Brusewitz, 1990). Mängden björkskott från en stubbe kan uppnå till 9–12 skott (Holm, 1986). Höjdutvecklingen av stubbskott från röjda stammar av vårtbjörk (*Betula pendula*) var i en tidigare studie

0,54m/år givet en stubbdiameter på 50mm och ett ståndortsindex (SI) på T24 (Figur 1). Studien visade även att större stubbdiameter gav en högre höjdtillväxt hos stubbskotten (Björkdahl, 1983). Mängden biomassa av stubbskott hos björk skiljer sig mellan glas- och vårtbjörk och är beroende av stubbdiameter (Johansson, T. 2008). Stubb- och rotskottsföryngring kan således vara ett problem efter röjningen då nya stammar uppkommer och konkurrerar med de tänkta huvudstammarna.



Figur 1. Höjdtillväxt hos stubbskott av vårtbjörk, givet en stubbdiameter på 5 cm (H100 tall).

Källa: Björkdahl, 1983.

Figure 1. Height growth for stump shoots from Betula pendula, given a stump diameter of 5 cm.

1.4 Fröföryngring

Fröspridning av träd från närliggande bestånd ger normalt upphov till uppslag av naturligt föryngrade plantor. Markstörning i form av markberedning ökar etableringen och överlevnaden av självföryngrade plantor (Karlsson, 1996). Björk (*Betula*) har en god förmåga till självföryngring och stod för den högsta volymen per trädslag i diameterklassen 0–4 cm (Skogsstyrelsen, 2003), trots att föryngringsträdslagen var övervägande barrträd (Ekstrand, 2014).

1.5 Rotryckning

En ny mekaniserad röjningsmetod som har testats är rotryckning. Tanken bakom tekniken är att det efter ett ingrepp ska behövas endast en kompletterande motormanuell röjning till, alternativt ingen alls. Lövträd som rycks bort har ingen möjlighet att skjuta skott igen (Saksa & Hallongren, 2014). Rotryckningsaggregatet kranspetsmonteras vanligen på en skördare alternativt skotare och kan sedan användas för att rycka upp flera stammar ur marken samtidigt (Manner et al., 2018). Saksa & Hallongren (2014) beskrev val av bestånd och tidpunkt för åtgärden som två nyckelfaktorer för en lyckad rotryckning till ett

konkurrenskraftigt pris. Användningen av relativt stora basmaskiner innebär att ingreppet bör utföras då huvudstammarna är cirka en meter höga för att stammarna ska gränsas och inte skadas (Manner et al., 2018). I tidigare studier av Hallongren och Rantala (2013) samt (Rantala & Kautto, 2011) var skadorna på huvudplantorna i samband med rotryckning cirka fem procent. Medelkostnaden för rotryckning varierade i en tidigare studie från cirka 400 till 600 USD/ha (Hallongren & Rantala, 2013), vilket motsvarar ungefär 3644 till 5466 kronor per hektar givet en växelkurs om 9,11 kr/USD (Riksbanken, 2019). I en annan studie testades två olika aggregat, nämligen Naarvas P25_v1 och P25_v2. Tidsåtgången var i medel 7,0 G₀-timmar/ha för P25_v1 och 4,9 G₀-timmar/ha för P25_v2, där den lägsta uppmätta tidsåtgången för P25_v2 var 4,5 G₀-timmar/ha. Produktiviteten var inte signifikant påverkad av beståndsegenskaperna. Vid antagande om att P25_v1 och P25_v2 kostade lika mycket i inköp så var medelkostnaden för P25_v1 5156 kr/ha och för P25_v2 3608 kr/ha. Kostnaden var högre jämfört med motormanuell röjning men åtgärden kunde vara lika kostnadseffektiv om ingen kompletterande röjning behövdes (Hallongren et al., 2016). I en arbetsrapport utgiven av Skogforsk framgick en förenklad tumregel om att en rotryckningsåtgärd bör motsvara två konventionella motormanuella röjningar. I bästa fall behöver plantbeståndet då bara röjas en gång. Detta gäller speciellt för bestånd med högre bonitet där två röjningsingrepp är vanligare (Manner et al., 2018).

1.6 Syfte

Syftet med studien var att, utföra en ekonomisk analys av skötselprogram med rotryckning respektive motormanuell röjning för olika ståndortsindex i norra och södra Sverige.

Frågeställningar:

- Hur påverkas ekonomin för röjningsmetoderna rotryckning respektive motormanuell röjning av ståndortsindex?
- Hur påverkar respektive röjningsmetod den långsiktiga ekonomiska avkastningen under en omloppstid?

Hypotesen för den första frågeställningen var att de diskonterade kostnaderna för rotryckning skulle vara lägre än för ett skötselprogram med endast motormanuell röjning vid höga ståndortsindex. Hypotesen för den andra frågeställningen var att ett skötselprogram med rotryckning skulle få ett högre nuvärde än ett skötselprogram med endast motormanuell röjning vid höga ståndortsindex där alternativet till rotryckning skulle vara två motormanuella röjningar.

2 MATERIAL OCH METODER

2.1 Generellt

Typbestånd med olika ståndortsindex, från T16 till T28 samt G16 till G32, skapades med egenskaper enligt bilaga 1. Typbestånd skapades enbart för Kronobergs län och skillnaden mellan beräkningarna för södra Norrland och Götaland var enbart medelarealen på bestånden. Simuleringar av beståndets utveckling över en omloppstid utfördes i programmet Heureka StandWise. Heureka StandWise är en interaktiv simulator för analys på beståndsnivå. Programmet är ett beslutsstödsystem som innefattar tillväxtmodeller och simuleringar av åtgärder (Wikström, et. al, 2011). Simuleringarna utfördes från en ålder där den aritmetiska medelhöjden var så nära 6 meter som möjligt för det bonitetsvisande trädslaget. En lämplig ålder, för respektive ståndortsindex, sattes och höjden för bestånden beräknades av Heureka StandWise som en funktion av ålder. Medelarealen för röjningsbestånden räknades ut enligt formel 1. Beståndsarealen i södra Norrland sattes till 6,38 ha och i Götaland 2,74 ha baserat på statistik från storlek på avverkningsanmälningar (Tabell 1).

$$\text{Medelareal} = \text{Anmäld areal} \div \text{antal anmälningar} \quad (1)$$

Tabell 1. Anmäld areal för slutavverkning och antal anmälningar från alla ägarkategorier över respektive landsdel år 2018. Avverkningar under 0,5 ha ej inkluderade.

Table 1. Reported area for final harvesting and number of notifications from all categories of owners over each region in 2018. Felling under 0.5 ha not included.

	Södra Norrland	Götaland
Anmäld areal, ha	81 617	79 674
Antal anmälningar	12 795	29 085
Medelareal, ha	6,38	2,74

Källa: Skogsstyrelsen, 2019.

För att kunna jämföra kassaflöden mellan olika skötselalternativ där utgifter och inkomster sker vid olika tidpunkter så användes nuvärdesmetoden (Nationalencyklopedin, 2019). Samtliga kostnader och intäkter diskonterades till år 0 med en ränta om 3% (Formel 2). Därmed erhöles värdet av alla framtida kostnader och intäkter vid år 0.

$$NV = \sum_{t=0}^T \frac{I_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

NV = Nuvärde (kr)

T = Omloppstid (år)

t = Tid då aktiviteten inträffar (år)

I_t = Intäkt år t (kr)

K_t = Kostnad år t (kr)

r = Ränta (procent)

2.2 Kostnader för markberedning och plantering

Kostnaden för markberedning var under 2017 i medeltal 2155 kr/ha för norra Sverige och 2535 kr/ha för södra Sverige (Skogsstyrelsen, 2018). Dessa siffror användes för södra Norrland respektive Götaland. Markberedning antogs ske år 0 vilket innebar att ingen diskontering behövde göras.

Stamantalet vid plantering av de olika bestånden sattes till medeltalet för rekommenderat plantantal enligt Skogsstyrelsens gamla rekommendationer (Tabell 2). Alla omkostnader för plantering inklusive plantor och arbetskraft sattes till 2,5 kr/planta vilket även var standardvärdet i Heureka (Heureka Help, 2018a). Plantering antogs ske år ett vilket innebar att kostnaderna fick diskonteras ett år bakåt i tiden (Tabell 2 och 3). Kostnadsberäkningar för plantering gjordes enligt formel 3. Därefter diskonterades kostnaderna (Formel 2).

$$\text{Planteringskostnad/ha} = (\text{plantor/ha} \times \text{kr/planta}) \quad (3)$$

Tabell 2. Antal planterade tallplantor per ståndortsindexklass enligt Skogsstyrelsens gamla rekommendationer, samt kostnad och nuvärde kr per hektar. Nuvärde avrundat till heltal.

Table 2. Stocking rate per site index class and cost and present value per hectare, according to the Swedish Forest Agency's old recommendations. Present value rounded to nearest integer.

Ståndortsindex	T16	T20	T24	T28
Antal plantor/ha	2200	2550	2800	3250
Kr/planta	2,5	2,5	2,5	2,5
Totalkostnad kr/ha	5500	6375	7000	8125
Nuvärde/ha, ränta 3%	-5340	-6189	-6796	-7888

Källa: Skogskunskap 2018

Tabell 3. Antal planterade granplantor per ståndortsindexklass enligt Skogsstyrelsens gamla rekommendationer, samt kostnad och nuvärde kr per hektar. Nuvärde avrundat till heltal.

Table 3. Stocking rate per site index class and cost and present value per hectare, according to the Swedish Forest Agency's old recommendations. Present value rounded to nearest integer.

Ståndortsindex	G16	G20	G24	G28	G32
Plant/ha	2000	2100	2250	2550	2750
Kr/plant	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Kr/ha	5000	5250	5625	6375	6875
Nuvärde/ha, ränta 3%	-4854	-5097	-5461	-6189	-6675

Källa: Skogskunskap 2018

2.4 Röjningsprogram

De olika röjningsprogrammen som skapades var ”motormanuell röjning” och ”rotryckning”. ”Motormanuell röjning” innebar att en eller två konventionella röjningar med röjsåg utfördes. Sista röjning, det vill säga slutröjning, gjordes då det bonitetsvisande trädslagets aritmetiska medelhöjd var cirka tre till fyra meter. T16 till T28 samt G16 till G28 slutröjdes vid cirka tre meter medan G32 slutröjdes vid cirka fyra meter, enligt Södras rekommendationer för fuktig mark (Lindén & Petersson, 2013).

Röjningsprogrammet ”rotryckning” innebar att en rotryckning gjordes vid en aritmetisk medelhöjd på cirka en meter. Ungefärligt antal år för en planta att uppnå en meters höjd antogs vara antal år till brösthöjd enligt tabell 4 dividerat med 1,3. Talen avrundades sedan till närmaste heltal (Tabell 4).

Tabell 4. Antal år till brösthöjd samt beräknat antal år till en meters höjd (inom parentes) i respektive landsdel. G16 i Götaland fanns ej med i aktuellt boniteringshäftet och uteslöts därför.

Table 4. Number of years to breast height and estimated number of years to one meter height (in parentheses) in each region. G16 in Götaland was not included in the site-classification booklet and was therefore excluded.

Ståndortsindex	T16	T20	T24	T28	G16	G20	G24	G28	G32
År till brösthöjd södra Norrland ^{a)}	12 (9)	9 (7)	8 (6)	8 (6)	13 (10)	11 (8)	10 (8)	9 (7)	8 (6)
År till brösthöjd Götaland ^{b)}	12 (9)	9 (7)	8 (6)	8 (6)	-	10 (8)	9 (7)	8 (6)	7 (5)

^{a)}Från Skogsstyrelsen, 1985b

^{b)}Från Skogsstyrelsen, 1985a

Stamantalet efter sista motormanuella röjning antogs vara mellan 2000–2500 stammar/ha beroende på ståndortsindex (Tabell 5). Stamantalen sattes enligt Södras röjningsstandard för “svag”, “medel” respektive “god” mark. Till “svag” mark hörde enligt standarden T20 och G24, till “medel” hörde T24 och G28 och till “god” hörde T28 och G32 (Lindén & Petersson, 2013). T16, G16 och G20 antogs höra till “svag” mark. Stamantalet efter utförd rotryckning antogs vara 5 % lägre än efter motormanuell röjning då antalet allvarligt skadade huvudstammar i samband med rotryckning i tidigare studier varit cirka fem procent (Hallongren & Rantala, 2013) (Rantala & Kautto, 2011).

Tabell 5. Stamantal per hektar efter motormanuell röjning respektive rotryckning.

Table 5. Stem density per hectare after motor manual cleaning and uprooting.

Ståndortsindex	T16	T20	T24	T28	G16	G20	G24	G28	G32
Stammar/ha efter Motormanuell ^{a)}	2200	2200	2500	2800	2000	2000	2000	2200	2500
Stammar/ha efter rotryckning	2090	2090	2375	2660	1900	1900	1900	2090	2375

^{a)}Från Lindén & Petersson (2013).

Efter rotryckning räknades det på två olika utvecklingar av stamantal. Ett där inga stammar växte in och ett där 4070 stammar/ha växte in fram till sex meters aritmetisk medelhöjd för det bonitetsvisande träslaget, varav 823 barrträd. Antalet inväxande stammar baserades på genomsnittet av det registrerade antalet inväxande röstammar vid fem trakter med försök i Joensuu (Tabell 6). Uppföljningen utfördes där cirka tio år efter rotryckning (Manner, 2019).

Tabell 6. Antalet röstammar vid sex olika trakter cirka tio år efter rotryckning.

Table 6. Stem density at six different areas about ten years after uprooting.

Trakt	Röstammar/ha i genomsnitt	Ståndortsindex
1	3800	G24
2	Struken på grund av felaktigt arbetssätt.	-
3	4050	G27
4	4750	G26
5	2800	G26
6	4950	G24
Medelvärde	4070	-

Källa: Manner, 2019

Efter motormanuell slutröjning antogs att inga stammar växte in fram till sex meters medelhöjd. Antal stammar per hektar i Heureka StandWise beräkningar blev därför, vid en aritmetisk medelhöjd om sex meter för det bonitetsvisande trädslaget, enligt tabell 7.

Tabell 7. Indata till StandWise. Antal stammar per hektar vid en ungefärlig aritmetisk medelhöjd om sex meter för det bonitetsvisande trädslaget, per ståndortsindex och skötselprogram.

Table 7. Input to StandWise. Stem density per hectare at an approximate arithmetic mean height of six meters, per site index and pre-commercial thinning program.

SI	T16	T20	T24	T28	G16	G20	G24	G28	G32
Motormanuell	2200	2200	2500	2800	2000	2000	2000	2200	2500
Rotryckning utan inväxt	2090	2090	2375	2660	1900	1900	1900	2090	2375
Rotryckning med inväxt	6160	6160	6445	6730	5970	5970	5970	6160	6445

Dessa stamantal importerades in i Heureka StandWise. Aritmetisk medelhöjd kunde inte sätta till exakt 6 meter utan höjden räknades ut av Heureka StandWise som en funktion av ålder. För respektive ståndortsindex angavs den ålder som bestånden har vid cirka sex meters aritmetisk medelhöjd för gran samt tall (Bilaga 1). Trädslagsfördelning importerades därefter in i Heureka StandWise. För skötselprogrammen “motormanuell röjning” (MOMAN) och “rotryckning utan inväxning” (ROTUI) antogs att 90% av stamantalet bestod av det bonitetsvisande trädslaget och resterande 10% av björk. För programmet “rotryckning med inväxt” (ROTM) antogs att 90% av stammarna efter rotryckning bestod av det bonitetsvisande trädslaget och resten av björk, samt att 823 av de totalt 4070 stammar som växte in var barrträd av det bonitetsvisande trädslaget och resten björk (Tabell 8).

Tabell 8. Indata till StandWise i form av procentuell trädslagsfördelning per ståndortsindex och program. Den första siffran uttrycker det bonitetsvisande trädslaget och den andra siffran står för björk.

Table 8. Input to StandWise. Percentage of tree species distribution per standard index and program. The first number stands for the conifers and the second number stands for birch.

SI	T16	T20	T24	T28	G16	G20	G24	G28	G32
MOMAN	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10
ROTUI	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10	90–10
ROTM	44–56	44–56	46–54	48–52	42–58	42–58	42–58	44–56	46–54

Antalet rotryckningar antogs alltid vara en och hektarskostnaden för rotryckning antogs vara oberoende av antal röststammar. Timkostnaden för basmaskin respektive aggregat dividerades med produktiviteten för att få en hektarskostnad (Tabell 9). Den av Hallongren et al (2016) lägsta uppmätta tidsåtgången vid rotryckning, 4,5G₀-timmar/ha, konverterades till produktivitet och avrundades till 0,222 ha/G₀-timme. Flyttkostnaden sattes till 3000 kr/flytt, då antagande gjordes att flyttavståndet i medeltal var cirka 25 km och att flytt gjordes med lastbil och trailer med 30 minuters väntetid (Wildmark, 2014). Kostnaden dividerades sedan med medelareal för bestånden i respektive landsdel (Tabell 1) för att erhålla flyttkostnaden i kronor per hektar. Maskinkostnadsberäkningarna utfördes enligt bilaga 2 (Nordfjell, 2013). Beräkningarna var något förenklade och underhållskostnaderna baserade på en stor maskin, men antogs vara tillräckligt noggranna för studiens syfte.

Tabell 9. Kostnadsberäkningar för basmaskin, aggregat och flytt.

Table 9. Cost calculations for the base machine, uprooting device and relocations.

	Basmaskin	Rotryckningsaggregat
Investeringsbelopp, kr ^a	4 000 000	200 000
Restvärde 15% ^a	700 000	30 000
Kalkylränta ^a	5%	5%
Ekonomisk livslängd, år ^a	5	5
Fast underhållskostnad, kr/år	406 108 ^b	0
Rörlig underhållskostnad, kr/h	11 ^b	5
Drivmedelskostnad, kr/h	130	0
Lön, kr/h	300	0
Systemtid, h/år	3000	2000
Produktivitet, ha/h ^c	0,222	0,222
Timkostnad, kr/h	842	25
Hektarskostnad, kr/ha exkl. flytt	3794	114
Flyttkostnad, kr/flytt	3000	0
Flyttkostnad södra Norrland, kr/ha	470	0
Flyttkostnad Götaland, kr/ha	1095	0

Källor:

^{a)}Från Manner (2019)

^{b)}Från SCA (2017) (Bilaga 3)

^{c)}Från Hallongren et al. (2016)

Kostnad för basmaskin samt aggregat adderades sedan med flyttkostnaden per hektar för de olika landsdelarna enligt nedan:

- Södra Norrland: $3794 + 114 + 470 = 4378$ kr/ha.
- Götaland: $3794 + 114 + 1095 = 5003$ kr/ha.

Dessa siffror kan jämföras med Hallongren et al., (2016) där kostnaden var motsvarande 3608 kr/ha vid tidsåtgången 4,9 G₀-timmar/ha, vilket motsvarar en timkostnad på cirka 736 kr/G₀-timme och således en kostnad på ca 3312 kr/ha vid tidsåtgången 4,5 G₀-timmar/ha.

Kostnaderna enligt tabell 9 fick sedan representera hektarskostnaderna för rotryckning för södra Norrland respektive Götaland. Dessa kostnader diskonterades sedan till år noll (Tabell 12). Tidpunkten för rotryckning och därmed antal år att diskontera varierade enligt tabell 4.

Antalet motormanuella röjningar antogs vara en eller två beroende på ståndortsindex. Slutröjning utfördes vid tre till fyra meters aritmetisk medelhöjd. För att erhålla ungefärlig ålder för respektive bestånd vid denna medelhöjd så räknades åldern för bestånden i Götaland vid sex meter (Bilaga 1) ned med hjälp av interceptmetoden i boniteringshäftet för Kronobergs län (Skogsstyrelsen, 1985a). Dessa åldrar fick sedan för enkelhetens skull gälla även för Norrland då skillnaderna bedömdes som små. Vid en röjning antogs huvudstammar och röjstammar var lika höga. Vid två röjningar utfördes den första röjningen då både huvud- och röjstammar var i brösthöjd, d.v.s. 1,3 meter. Därefter antogs varje röjstubbe få ett stubbskott fram till slutröjningen. Höjden för dessa skott beräknades enligt Björkdahl (1983). För G28 interpolerades höjden för skotten då data saknades. Antalet röjstammar räknades ut genom att subtrahera antalet stammar för oröjda B2-skogar enligt data från Riksskogstaxeringen (år 2013–2017) med önskat antal huvudstammar efter röjning. B2 är ungskog med en medelhöjd mellan 1,3 och 3,0 meter (Bergquist et al., 2016). Data för de oröjda B2-skogarna från Riksskogstaxeringens inventeringar från år 2013 till 2017 och sammanvägdes och sorterades efter SI. För T16 användes data från T14 till T17, för T20 användes data från T18 till T21 och så vidare. För stamantalen antogs samma värde för de båda landsdelarna (Tabell 7). Effektiv tidsåtgång för röjning beräknades enligt SLA Norr 1991 (SLA Norr, 1991) som framgår i formel 4.

$$T = \left[0,765 \times \left[\left(15,08 \times \left(\frac{RA}{1000} \right) \right) + \left(9,5 \times \left(\frac{RA}{1000} \right) \times H \right) - \left(0,15 \times \left(\frac{RA}{1000} \right) \times \left(\frac{RA}{1000} \right) \times H \right) + 91 \right] \right] \times 1,35 \quad (4)$$

T= Tidsåtgång i minuter

RA= Antal röjstammar

H = Röjstammarnas höjd i meter

1,35 = Tillägg för arbetssvårigheter

För en 480 minuters (d.v.s 8 timmars) arbetsdag antogs att 162 minuter gick åt till annat än röjning, enligt summering av 36 minuters gångtid, 20 minuter för uppföljning och rekognosering, samt 12 minuter var 48:e minut till tankning, filning och övriga pauser. Tillägget för arbetssvårigheter var korrigeringar för 30% andel röjstammar med lågt sittande grenar samt måttlig inverkan av andra hinder. För att konvertera till timmar dividerades

framräknade värden med 60. Rövning antogs kosta 350 kr/timme vilket även var standardvärdet i Heureka (Heureka Help, 2018b). Kostnaderna för de motormanuella rövningarna diskonterades sedan till år noll (Tabell 12).

Tabell 10. Data och kostnader för MOMAN.

Table 10. Data and costs for MOMAN.

SI	T16	T20	T24	T28	G16	G20	G24	G28	G32
Antal rövstammar	710	2667	3265	5096	1800	2519	6101	7361	6842
År till första rövning	-	-	8	8	-	-	9	8	7
Höjd rövstammar, m	-	-	1,3	1,3	-	-	1,3	1,3	1,3
År till slutrövning	15	13	12	11	16	14	13	13	14
Höjd rövstammar, m	3	3	2,5 ^a	2,5 ^a	3	3	2,5 ^a	3,5	5,5 ^a
Antal rövningar	1	1	2	2	1	1	2	2	2
Kostnad 1:a, kr/ha	-	-	1623	2053	-	-	2283	2567	2451
Kostnad slutrövning, kr/ha	1107	1855	1944	2538	1528	1800	2855	3804	4665
Totalkostnad, kr/ha	1107	1855	3567	4591	1528	1800	5138	6371	7116

Källa: ^aFrån Björkdahl (1983)

2.5 Simuleringar i Heureka StandWise

Från sex meters höjd till slutavverkning simulerades de olika beståndens utveckling i Heureka StandWise. Räntekravet sattes till 3% och programmet tilläts generera skötselprogram för bestånden. För skog som inte röjts, samt för programmen med ROTMI, tilläts underväxtrövning vid behov till en kostnad på 1800 kr/ha. Programmet tilläts däremot inte att utföra ungskogsrövning då denna fas redan var passerad. Slutavverkningstidpunkter valdes så att högsta nuvärde erhöles. Inställningarna i kontrollkategorierna var standardinställningar för Heureka StandWise ver 2.12. Resultaten av simuleringarna kopierades in i en Excel-fil där kostnader och intäkter diskonterades till år noll (Formel 2). Därefter adderades nuvärdet från respektive programs tidigare skogsvårdskostnader för att få nuvärdet för en hel omloppstid.

2.6 Känslighetsanalyser

Grundscenariot var att räkna på produktiviteten enligt tabell 9 samt kostnader för MOMAN enligt tabell 10. Efter simulering av grundscenariot utfördes ett antal känslighetsanalyser för att spegla effekten av olika parametrars inverkan på nuvärdet. Justering av parametrarna baserades på realistiska antaganden om förändringar (Tabell 11). Vid samtliga känslighetsanalyser justerades en parameter medan alla andra parametrar hölls konstanta.

Tabell 11. Procentuell justering för de olika parametrarna i känslighetsanalysen.

Table 11. Percentage adjustment for the different parameters in the sensitivity analysis.

Parameter	Minimum	Maximum
Produktivitet	-10 %	+10, 20, 30, 40, 50 %
Kostnad/dagsverke motormanuell röjning, kr/dag	-10, 20 %	+10, 20 %

3 RESULTAT

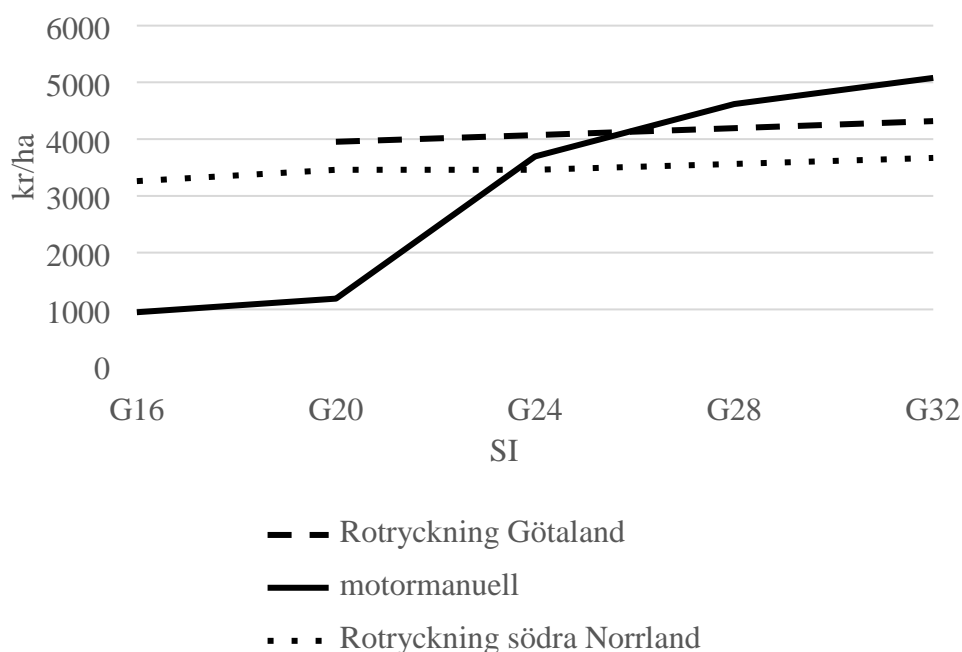
3.1 Röjningsmetod

De ekonomiska analyserna visade att kostnaderna för motormanuell röjning var högre än för rotryckning för SI G28 och högre. För SI G24 var motormanuell röjning dyrare än rotryckning i södra Norrland, men billigare än rotryckning i Götaland. För SI G16 och G20 var motormanuell röjning billigare än rotryckning. Vid SI G32 var skillnaden som störst mellan röjningskostnaderna, där kostnaden för rotryckning i södra Norrland var 3666 kronor per hektar och för motormanuell röjning 5077 kronor per hektar. Kostnaderna för motormanuell röjning var lägre än för rotryckning på samtliga tallbestånd (Tabell 12 samt figur 2, 3).

Tabell 12. Diskonterade kostnader i SEK/ha för röjning givet 3% ränta.

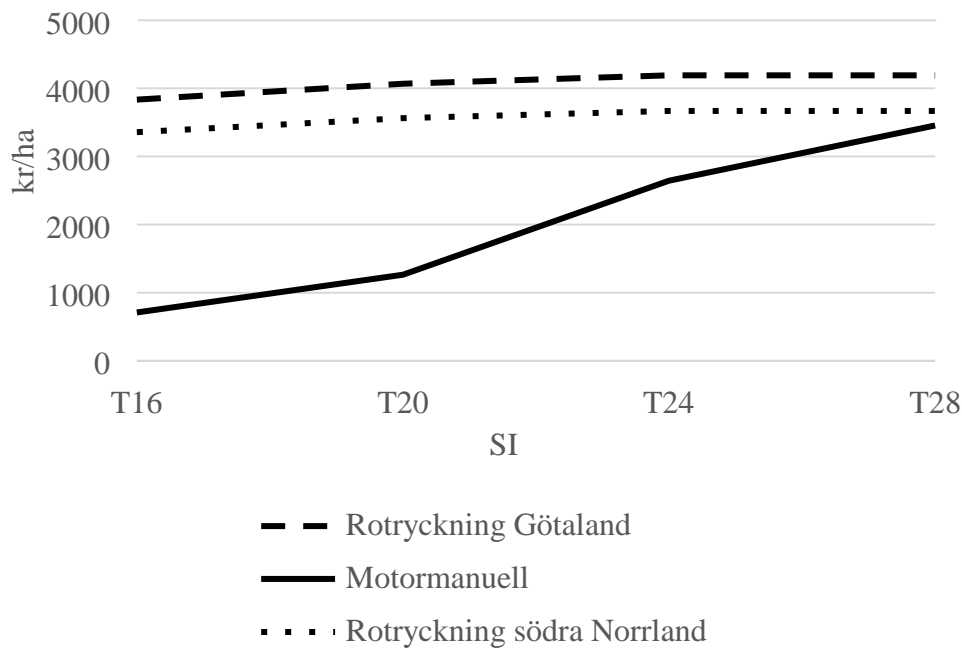
Table 12. Discounted costs in SEK/ha for cleaning given 3% interest rate.

SI	T16	T20	T24	T28	G16	G20	G24	G28	G32
Rotryckning S Norrland	3355	3560	3666	3666	3528	3456	3456	3560	3666
Rotryckning Götaland	3834	4068	4190	4190	-	3949	4068	4190	4315
Motormanuell röjning	710	1263	2645	3454	952	1190	3694	4617	5077



Figur 2. Diskonterade röjningskostnader för granbestånd givet 3% ränta.

Figure 2. Discounted cleaning costs for spruce stands given 3% interest rate.



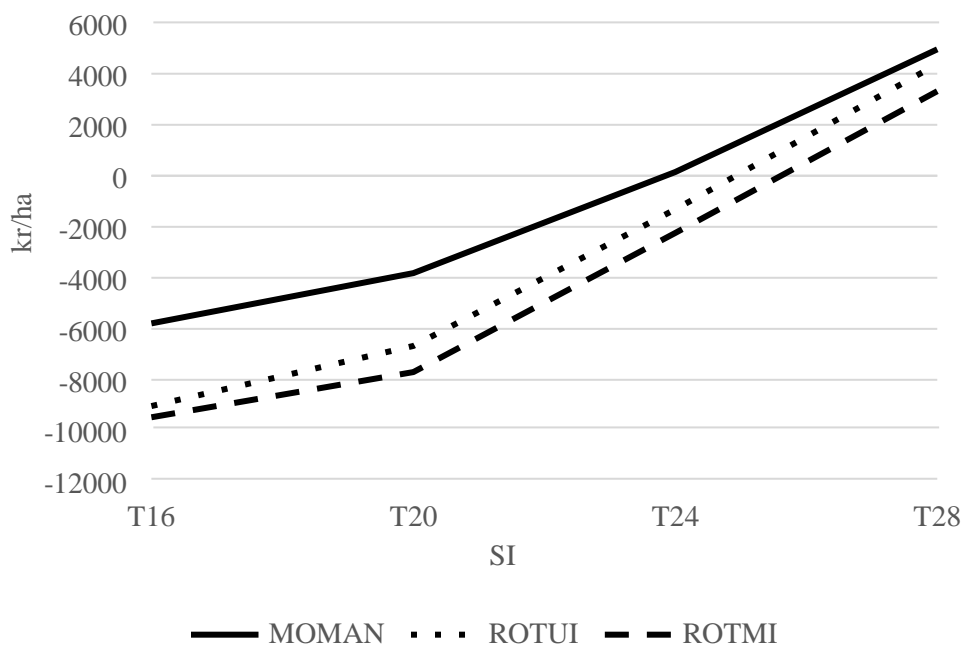
Figur 3. Diskonterade röjningskostnader för tallbestånd givet 3% ränta.

Figure 3. Discounted cleaning costs for pine stands given 3% interest rate.

3.2 Nuvärde över en omloppstid

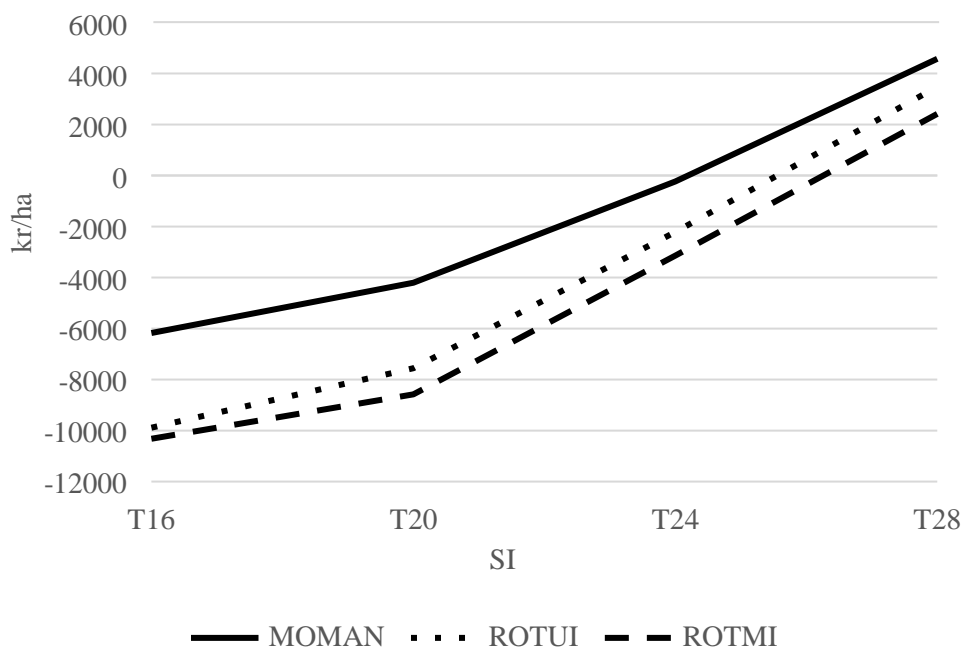
Simuleringarna med Heureka StandWise summerat med kostnader för tidigare skötselåtgärder resulterade i att MOMAN alltid gav högre nuvärde på tallbestånden. Tendensen var dock att skillnaden mellan programmen minskade med ökande ståndortsindex. Lägst nuvärde för samtliga tallmarker hade ROTMI (Figur 4, 5).

I granbestånden gav ROTMI ett högre nuvärde för bestånden med ett ståndortsindex från G24 och uppåt för både södra Norrland och Götaland. ROTMI innebar en inväxt på 4070 stammar efter rotryckning. För bestånden med SI lägre än G24 gav programmet MOMAN högst nuvärde. ROTUI hade lägst nuvärde för samtliga granbestånd i Götaland (Figur 7), i södra Norrland hade ROTUI lägst nuvärde på samtliga bestånd förutom G16 och G32 där ROTMI respektive MONAN var något lägre (Figur 6). ROTUI innebar att inga stammar växte in efter rotryckning.



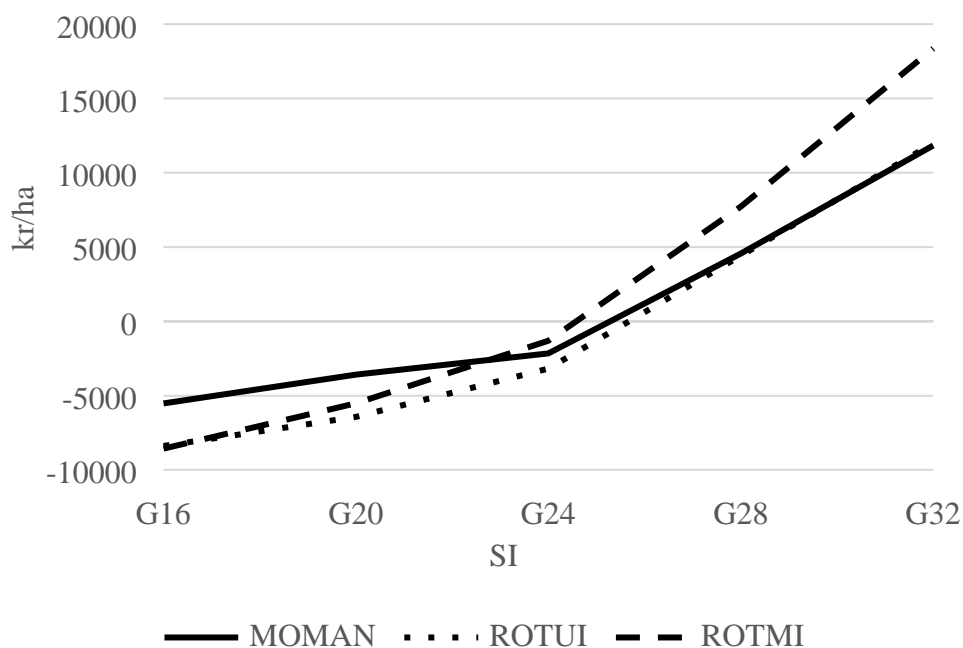
Figur 4. Nuvärde för en omloppstid i tallbestånd södra Norrland (Bilaga 4).

Figure 4. Net present value for one rotation period in pine stands in southern Norrland.



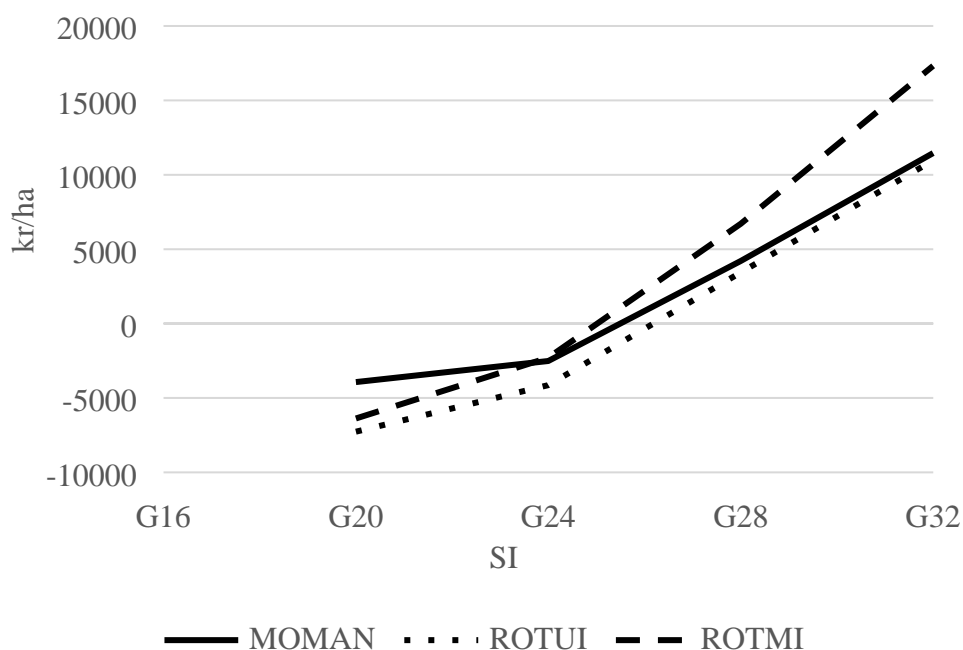
Figur 5. Nuvärde för en omloppstid i tallbestånd i Götaland (Bilaga 4).

Figure 5. Net present value for one rotation period in pine stands in Götaland.



Figur 6. Nuvärde för en omloppstid i granbestånd södra Norrland (Bilaga 4).

Figure 6. Net present value for one rotation period for spruce stands in southern Norrland.

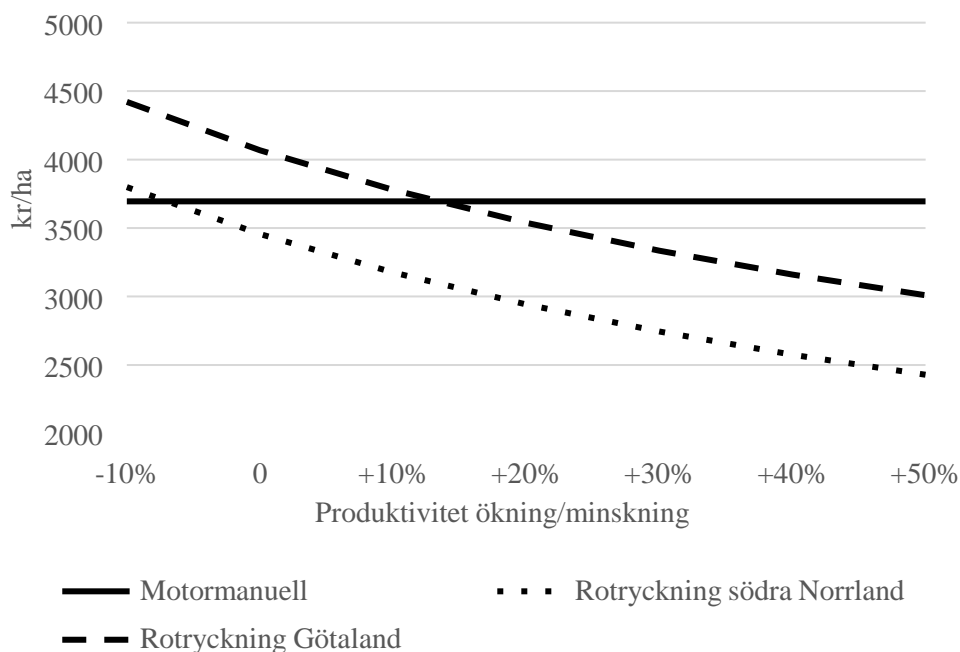


Figur 7. Nuvärde för en omloppstid i granbestånd i Götaland (Bilaga 4).

Figure 7. Net present value for one rotation period in spruce stands in Götaland.

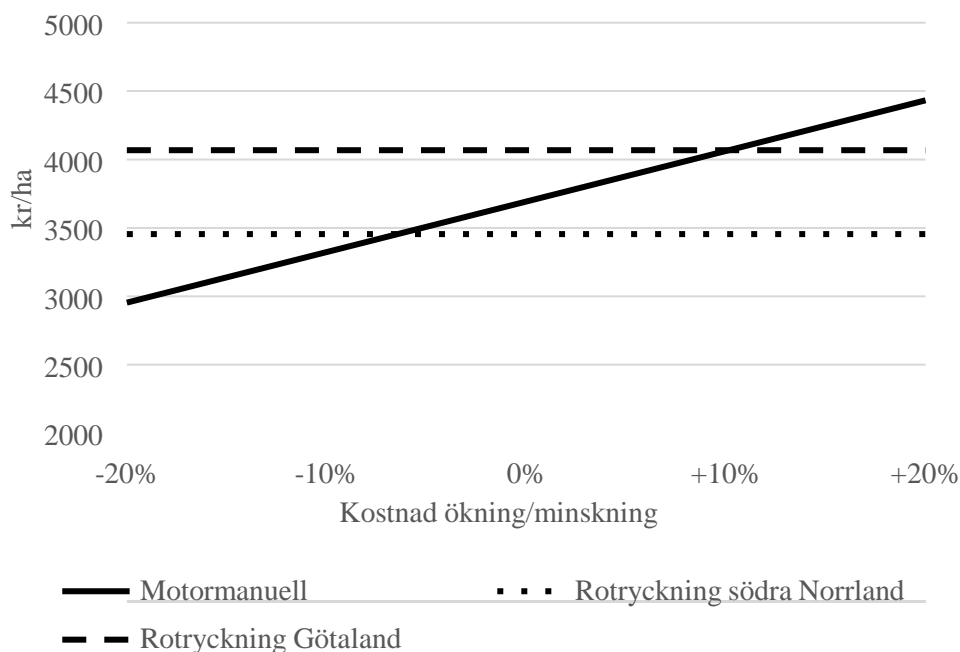
3.3 Känslighetsanalys av röjningsprogram

Om produktiviteten för rotryckning ökar så sjunker kostnaden per hektar för åtgärden. Vid ståndortsindex G24 och med en produktivitetsökning om cirka 13% så utförs rotryckning i Götaland till ungefär samma kostnad som motormanuell röjning (Figur 8 samt bilaga 5).



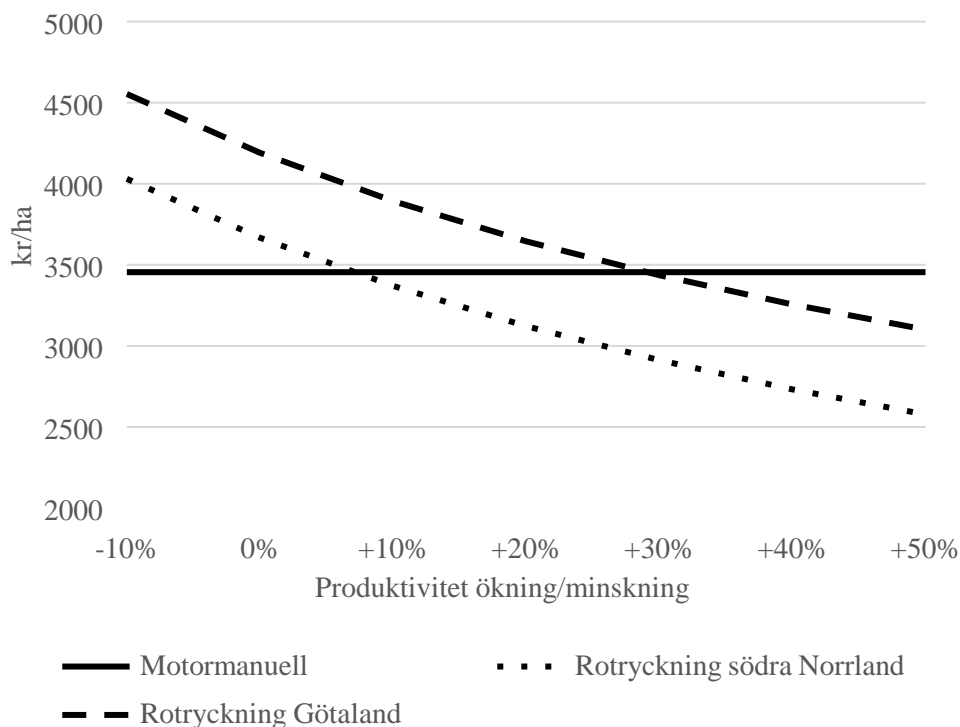
Figur 8. Känslighetsanalys av produktivitet för rotryckning vid ståndortsindex G24 (Bilaga 5)
 Figure 8. Sensitivity analysis of productivity for uprooting at site index G24.

Om timkostnaden för motormanuell röjning ökar så stiger kostnaden per hektar för åtgärden. Vid ståndortsindex G24 och med en ökning om cirka 10% för motormanuell röjning så ligger kostnaden på ungefär samma nivå som rotryckning i Götaland. Om timkostnaden för motormanuell röjning minskar med cirka 6 % så är kostnaden ungefär lika stor som för rotryckning i södra Norrland (Figur 9 samt bilaga 6).



Figur 9. Kostnadsjustering för motormanuell röjning vid ståndortsindex G24 (Bilaga 6).
 Figure 9. Adjustment of costs for motor manual cleaning at site index G24.

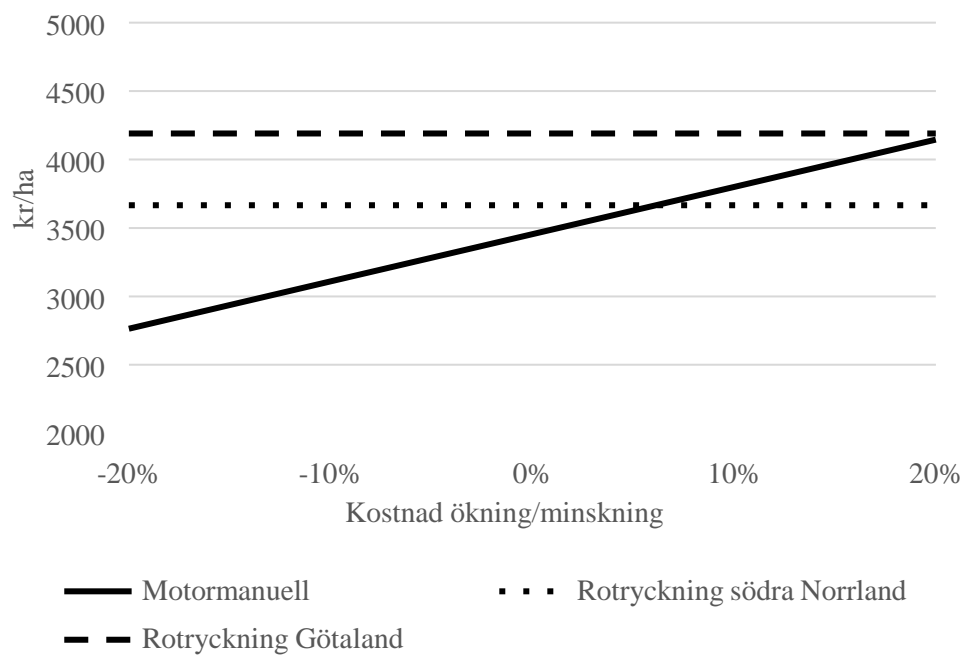
Vid en produktivitetöknings om cirka 7 % för rotryckning så utförs åtgärden i södra Norrland till ungefär samma kostnad som för motormanuell röjning. I Götaland krävs istället en produktivitetöknings om cirka 29 % för att kostnaden för rotryckning ska vara i nivå med kostnaden för motormanuell röjning (Figur 10 samt bilaga 7).



Figur 10. Känslighetsanalys av produktivitet för rotryckning vid SI T28 (Bilaga 7).

Figure 10. Sensitivity analysis of productivity for uprooting at site index T28.

Om istället kostnaden för motormanuell röjning ökar med cirka 6 % så utförs rotryckning i södra Norrland till ungefär samma kostnad. Vid en kostnadsökning om cirka 21 % för motormanuell röjning så utförs rotryckning i Götaland till ungefär samma kostnad (Figur 11 samt bilaga 8).



Figur 11. Kostnadsjustering för motormanuell röjning vid ståndortsindex T28 (Bilaga 8).
 Figure 11. Adjustment of costs for motor manual cleaning at site index T28.

4 DISKUSSION

4.1 Produktivitet och kostnader

Kostnaden för rotryckning var i både Götaland och södra Norrland lägre jämfört med motormanuell röjning på bestånd med SI G28 och G32. För bestånd med SI G24 var rotryckning i södra Norrland billigare än motormanuell röjning, medan rotryckning i Götaland var något dyrare (Tabell 12). Kostnaden på rotryckning antogs vara konstant i studien oavsett stamantal. Skillnaden mellan rotryckningskostnaden för södra Norrland och Götaland berodde på flyttkostnaden som i studien var beroende av storlek på röjningsobjektens areal, som för södra Norrland var 6,38 ha och för Götaland 2,74 ha (Skogsstyrelsen, 2019). Den motormanuella röjningskostnaden ökade generellt med högre ståndortsindex. Nuvärdet för en hel omloppstid var alltid lägst för rotryckta tallbestånd. För granbestånd med ett SI på G24 och högre gav däremot ROTMI ett högre nuvärde än MOMAN. Detta kan bero på att utgångspunkten för Heureka-simuleringen ROTMI hade ett högre antal stammar än någon annan simulering, vilket ledde till en högre volym och större intäkt vid slutavverkning.

Kostnaden för den motormanuella röjningen var beroende av stamantal och medelhöjd (SLA Norr, 1991). Vid rotryckning visar resultat av tidigare studier att ingen signifikant skillnad finns i pris vid varierande beståndsegenskaper (Hallongren et al., 2016). Röjningsobjektens areal påverkar däremot kostnaden för rotryckning. Större stamtäta objekt såsom bestånd med SI G24 och högre (Tabell 12) kan därför vara av intresse för rotryckning då kostnaden för motormanuell röjning blir hög.

Rotryckning var vid studiens genomförande en relativt ny teknik vilket innebär att möjligheten till ökad produktivitet och minskade maskinkostnader kan vara möjlig. Ett aggregat som är under utveckling är Rotryckan. Produktiviteten för rotryckan var i en pilotstudie högre än hos tidigare rotryckningsaggregat (Manner et al., 2018). En sådan utveckling tillsammans med minskning av flyttkostnader gör en känslighetsanalys intressant. Resultatet visar att på goda granmarker finns det potential för rotryckning som röjningsmetod (Figur 8), kostnaden blir lägre för rotryckning än motormanuell röjning då produktiviteten ökar. En ökad motormanuell röjningskostnad med 10 % skulle göra att rotryckning blir billigare än motormanuell röjning i Götaland för G24 (Figur 9). Tallmarkerna hade generellt ett lägre stamantal men känslighetsanalysen visar att om antingen produktiviteten för rotryckning ökar eller att kostnaden för motormanuell röjning ökar så kan röjningsmetoden även vara konkurrenskraftig på tallmarker (Figur 10, 11).

4.2 Studiens styrkor och svagheter

Maskinkostnadskalkylen i studien byggde på ett antal antaganden då säkra data för parametrar som bränsleförbrukning och systemtid per år ej kunde hittas. Bränsleförbrukningen antogs vara något lägre än den "normala" för en mellanstor skördare. Systemtiden antogs för basmaskinen vara 3000 timmar per år och för rotryckningsaggregatet 2000 timmar per år. I Götaland är det tänkbart med en så hög systemtid då barmarkssäsongen är lång. I södra Norrland är det knappast möjligt att rotrycka under en så lång period. En sänkning av

systemtiden per år skulle öka timkostnaden och således hektarkostnaden för aggregatet något. Basmaskinen har däremot möjlighet att användas till avverkning under vinterhalvåret vilket gör dess kalkyl mindre känslig för skillnader i årstider.

Heureka StandWise saknar funktioner för inväxning av stubb- och rotskott. Stubb- och rotskott har en betydande roll i inväxten på röjda bestånd (Björkdahl, 1983). I denna studie hade en sådan funktion varit till stor hjälp, då stubb- och rotskottsföryngring kan vara en faktor som talar för rotryckning kontra motormanuell röjning. Då funktionen saknades i Heureka StandWise valdes att simulera bestånd som hade vuxit ur röjningsfasen, med en medelhöjd på sex meter för det bonitetsvisande träslaget. Beräkningar och antaganden för skogstillståndens utveckling fram till sex meter gjordes istället med hjälp av inventeringsdata och rekommendationer.

Programmet "rotryckning utan inväxt" kan ses som ett högst teoretiskt fall då det med största sannolikhet hinner växa in problematiska röstammar efter en röjning som utförs vid en meter. Risken finns att en rotryckning har en markberedande effekt och att det därmed ökar insådd av nya stammar. Enligt en tidigare studie så växer det in ungefär hälften så många konkurrerande stammar efter en rotryckning jämfört med en motormanuell röjning (Saksa et al., 2018). I programmet "rotryckning med inväxt" baseras inväxten av röstammar på endast fem trakter i Joensuu, Finland vilket ger relativt osäkra resultat. Förslag till vidare forskning vore därför att samla in mer data från försöksytor, på ett brett spektrum av ståndortstyper, där rotryckning respektive motormanuell röjning utförts i parvisa jämförelser. Därefter skulle slutsatser kunna dras utifrån verkliga resultat och utan antaganden.

Studien ger däremot en bild av potentialen för rotryckning som röjningsmetod och hur eventuella produktivitetssökningar skulle påverka röjningsmetodens konkurrenskraft på olika typer av bestånd.

4.3 Vidare studier

Den här studien visar att rotryckning är som mest konkurrenskraftigt på granmarker med ett högt SI. Om produktiviteten för rotryckning skulle öka ytterligare skulle rotryckning vara konkurrenskraftigt även på tallmarker och granmarker med lägre SI. Prestationen för rotryckning påverkas sannolikt av lutande eller blockig terräng, något som bör undersökas i kommande studier. Kvaliteten i exempelvis gallringsskog som tidigare rotryckts skulle kunna vara ytterligare ett studieområde.

En stubb- och rotskottsfunktion bör implementeras i Heureka. Även en funktion för rotryckning som röjningsmetod bör implementeras. När motormanuell röjning har utförts bör stubb- och rotskottsfunktionen vara aktiv och när rotryckning har utförts bör funktionen inaktiveras. Med en sådan funktion skulle simuleringarna kunna utföras i Heureka från kalmark till slutavverkning.

4.4 Slutsatser

Studien visade att de diskonterade röjningskostnaderna var lägre för rotryckning än för motormanuell röjning vid ståndortsindex G28 och högre i både Götaland och södra Norrland. För ståndortsindex G24 var kostnaden för rotryckning i södra Norrland lägre än för motormanuell röjning, men i Götaland något högre. För de något glesare bestånden med ståndortsindex G16 och G20 var motormanuell röjning billigare än rotryckning. För tallbestånden var kostnaden för rotryckning i samtliga fall högre än för motormanuell röjning. Hypotesen om att de diskonterade kostnaderna skulle vara lägre för rotryckning än för motormanuell röjning vid höga ståndortsindex stämde för granbestånden, men ej för tallbestånden där kostnaderna för rotryckning var högre.

Under en hel omloppstid så gav rotryckning med inväxt ett högre nuvärde på granmarker med ett ståndortsindex från G24 och högre i både södra Norrland och Götaland. Rotryckning utan inväxt gav på samtliga granmarker utom på G16 och G32 i södra Norrland lägst nuvärde. I Götaland gav rotryckning utan inväxt lägst nuvärde på samtliga granmarker. På G16 i södra Norrland gav rotryckning med inväxt det lägsta nuvärdet och på G32 i samma landsdel gav programmet med motormanuell röjning det lägsta nuvärdet. På tallmarker gav rotryckning med inväxt alltid lägst nuvärde medan motormanuell röjning alltid gav högst nuvärde. Hypotesen om att skötselprogrammen med rotryckning skulle ge ett högre nuvärde än skötselprogrammet med motormanuell röjning vid höga ståndortsindex stämde för granmarker men ej tallmarker. På granmarker med höga ståndortsindex gav rotryckning med inväxt det högsta nuvärdet, det vill säga ett högre stamantal gav ett högre nuvärde för en hel omloppstid.

REFERENSER

- Almgren & Brusewitz (1990). *Lövskog. Björk, asp och al i skogsbruk och naturvård*. Jönköping. Författarna och skogsstyrelsen
- Berg, H. (1973). *Några system för ungskogsröjning: en analys*. Stockholm. Redogörelse / Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Bergquist, J., Edlund, S., Fries, C., Gunnarsson, S., Hazell, P., Karlsson, L., Lomander, A., Näslund, B.-Å., Rosell, S. & Stendahl, J. (2016). Kunskapsplattform för skogsproduktion. *Meddelande 1*, Jönköping. Skogsstyrelsen.
- Björkdahl, G. (1983). *Höjdtvecklingen hos stubbskott av vårt- och glasbjörk samt tall och gran efter mekanisk röjning*. Garpenberg: Institutionen för skogsproduktion.
- Callin, G. (1957). *En undersökning av röjning med motorsågar: An investigation on cleaning with brush motor saws*. Stockholm: Uppsatser / Statens skogsforskningsinstitut.
- Ekstrand, A.F. (2014). Skogsstatistisk årsbok 2014. s. 368.
- Hallongren, H., Kankaanhuhta, V. & Kukkonen, M. (2016). Cleaning Scots pine seedling stands with mechanical uprooters – a work quality comparison of two related devices. *Silva Fennica*, vol. 50 no. 3 artikel id 1514
- Hallongren, H. & Rantala, J. (2013). A search for better competitiveness in mechanized early cleaning through product development: evaluation of two Naarva uprooters. *International Journal of Forest Engineering*, vol. 24 (2), pp. 91–100.
- Heureka Help (2018a), *Föryngring*. Tillgänglig: <https://www.heurekaslu.se/help/index.html?foryngring.htm>. [Hämtad: 2019-04-29].
- Heureka Help (2018b), *Röjning (ungskog)*. Tillgänglig: <https://www.heurekaslu.se/help/index.html?rojning.htm>. [Hämtad: 2019-04-01].
- Holm, L. (1986). *Skjuter grov björk stubbskott? Specialarbete I ämnet skogsskötsel*. Skinnkatteberg: Skogsmästarskolan, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Johansson, T. (2008). Sprouting ability and biomass production of downy and silver birch stumps of different diameters. *Biomass and Bioenergy*, 32(10), 944-951.
- Karlsson, A. (1996). *Site preparation of abandoned fields and early establishment of naturally and direct-seeded birch in Sweden*. Stockholm: Sveriges lantbruksuniversitet ; Almqvist & Wiksell
- Lindén, M. & Petersson, M. (2013). *Röjningsstandard 2:a upplagan*. Växjö: Södra skogsägarna.
- Manner, J., Johansson, R., Normark, E., Lundström, H. & Jönsson, P. (2018). Möjligheter och utmaningar inom maskinell röjning. s. 14. Uppsala. Skogforsk.

Nationalencyklopedin. (2019). Nuvärde. Tillgänglig:

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/nuv%C3%A4rde>
[Hämtad: 2019-04-09]

Nordfjell, T. (2013) Kalkylering av maskinkostnad vid drivning, generella formler.

Pettersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. (2012). Skogsskötselserien 6. *Röjning*. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Rantala, J. & Kautto, K. (2011). Koneellinen kitkentä taimikon varhaisperkauksessa – työajanmenekki, kustannukset ja työjäljen laatu. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2011: 3–12.

Riksbankens växelkurs US-dollar i genomsnitt 2019. Tillgänglig:

<https://www.riksbank.se/sv/statistik/sok-rantor--valutakurser/arsgenomsnitt-valutakurser/?y=2019&m=2&s=Comma&f=y> [Hämtad: 2019-03-26]

Saksa, T. & Hallongren, H. (2014). New device for pre-commercial thinning operation. Innovation and technology in forestry ITF-2014.

Saksa, T. Laine, T. Saarinen, VM. Salmi, A, Luukkonen, O. (2018). Efficient forestry by precision planning and management for sustainable environment and cost-competitive bio-based industry. Natural Resources Institute Finland.

SCA (2017). Exempelkalkyl 951/1470G

Skogsstyrelsen och skogforsk (2018). Kostnader och intäkter i det storskaliga skogsbruket 2017. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Skogskunskap. *Antal plantor enligt SKS gamla*. (2018). Tillgänglig:

<https://www.skogskunskap.se:443/skota-barrskog/foryngra/plantering/antal-plantor/>.
[Hämtad: 2019-03-20].

Skogsstyrelsen (1985a). *Fälthäfte i Bonitering Kronobergs län*. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Skogsstyrelsen (1985b). *Fälthäfte i Bonitering Västernorrlands län*. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Skogsstyrelsen (2003). *Skogsstatistisk årsbok. 2003*. Jönköping: Skogsstyrelsen.

Skogsstyrelsen. *PX-Web - tabell*. (2018) (Skogsstyrelsens statistikdatabas). Tillgänglig:

http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas__Kostnader/JO0307_2.px/table/tableViewLayout1/?rxid=c8f5f4c1-5937-4f4d-a891-7ccd0dea39fd. [Hämtad: 2019-03-19].

Skogsstyrelsen. *PX-Web - tabell*. (2019) (Skogsstyrelsens statistikdatabas). Tillgänglig:

http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas_Avverkningsanmalan/1_Antal%20och%20areal%20avverkningsanmalningar.px/table/tableViewLayout1/?rxid=c8f5f4c1-5937-4f4d-a891-7ccd0dea39fd. [Hämtad: 2019-03-19].

SLA Norr (1991). Anvisningar för prestations- och prissättningsprognos för motormanuell röjning och förrensning. Skellefteå.

SLU (2019). Riksskogstaxeringen - Officiell statistik om de svenska skogarna. Statistikdatabasen. Tillgänglig: <http://skogsstatistik.slu.se/pxweb/sv/?rxid=249b2c78-e99c-48a2-95c0-108dea6dfaf3> [Hämtad: 2019-04-09]

Wahlgren, A. (1922) Skogsskötsel : Handledning Vid Uppdragande, Vård Och Föryngring Av Skog. 2. Uppl. Stockholm: Norstedt.

Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L., Lämås. T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C., Klintebäck, F. (2011). The Heureka forestry decision support system: an overview. pp. 87-94. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.

Wildmark, L. (2014). Flyttavstånd och flyttkostnader för skogsmaskiner samt ruttplanering hos Södra Skogsägarna. Sveriges lantbruksuniversitet.

Muntliga källor

Jussi Manner. Skogforsk, Våren 2019.

Bilagor

Bilaga 1. Indata till Heureka StandWise

Höjd över hav: 160 m
Avstånd till kust: 75 km
Klimatkod: 2 (Maritimt östkust)
Länskod enligt RIS: 24
Breddgrad: 56
Markfuktighet: 3 (Frisk-fuktig)
Areal: 2,74 ha
Huggningsklass: R2
Målklass: PG
Dikat: Nej
G-Y-L: 1-1-1
Vegetationstyper: Utgått från (Skogsstyrelsen, 1985a)
T 16 – Fattigris
T20 – Kråkbär
T24 – Blåbär
T28 – Blåbär
G16- Fattigris
G20 – Fattigris
G24- Fattigris
G28- Lingon
G32- Lågört utan ris

Åldrar vid ca 6 m i år:

T16 - 30
T20 - 23
T24 - 19
T28 - 16
G16 - 37
G20 - 29
G24 - 23
G28 - 20
G32 - 17

Bilaga 2. Kalkylering av maskinkostnader vid drivning, generella formler

Källa: Nordfjell (2013)

- | | | |
|-----|--|---|
| (1) | $K_D = K_T / P$ | K_D = Drivningskostnad för aktuell maskin (kr/m^3) P
= Produktivitet (m^3/tim) |
| (2) | $K_T = K_{\text{fast}} + K_{\text{rörl}}$ | K_T = Timkostnad för aktuell maskin (kr/tim)
K_{fast} = Fast kostnad (kr/tim)
$K_{\text{rörl}}$ = Rörlig kostnad (kr/tim) |
| (3) | $K_{\text{fast}} = (K_{\text{kap}} + K_{\text{uf}}) / S$ | K_{kap} = Kapitalkostnad ($\text{kr}/\text{år}$)
K_{uf} = Fast underhållskostnad ($\text{kr}/\text{år}$)
S = Systemtid ($\text{tim}/\text{år}$) |
| (4) | $K_{\text{rörl}} = K_{\text{ur}} + K_{\text{driv}} + K_{\text{för}}$ | K_{ur} = Rörlig underhållskostnad (kr/tim)
K_{driv} = Drivmedelskostnad (kr/tim)
$K_{\text{för}}$ = Förarlön (kr/tim) |
| (5) | $K_{\text{kap}} = (I - R_n) \times A$ | I = Investering (kr)
R_n = Restvärdets nuvärde (kr) |
| (6) | $R_n = R \times (1+i)^{-n}$ | A = Amorteringsfaktor (Annuitetsfaktor)
R = Restvärde (kr)
i = Kalkylränta ($\%/100$)
n = Ekonomisk livslängd (år) |
| (7) | $A = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ | |

Bilaga 3. Simulerade driftskostnader Komatsu 951 / John Deere 1470G

Källa: SCA (2017)

DRIFTSKOSTNADER	Förbrukning	kost /enhet
4010 Drivmedel:	20,00	9,00
4011 Hydraulolja:	0,30	35,00
4012 Övriga smörjmedel, motor, filter mm:	2 804	27,00
4013 Däckkostnad:		
4014 Matarhjul:	2	30 000
4015 Hydraulslang:	20,00	1 000
4016 Sågsvärd, kedjor, kedjeolja:	77 099	0,90
4020 Reservdelar och underhåll, basmaskin:	2 804	80,00
4021 Inköpta montörs-timmar, basmaskin:	30,00	850
4022 Garanti/serviceavtal hos leverantör:		
4023 Reservdelar och underhåll, aggregat:	2 804	20,00
4024 Inköpta montörstimmar, aggregat:		
4030 Skatt och försäkring:	1	30 000

Bilaga 4. Nuvärden för en omloppstid

Södra Norrland, kr/ha givet 3% ränta.

SI	T16	T20	T24	T28	G16	G20	G24	G28	G32
MOMAN	-5793	-3823	144	4954	-5504	-3564	-2144	4578	11 832
ROTUI	-9031	-6670	-1317	4376	-8359	-6406	-3160	4433	11 988
ROTFI	-9467	-7694	-2243	3315	-8548	-5503	-1297	7720	18 349

Götaland, kr/ha givet 3% ränta.

	T16	T20	T24	T28	G20	G24	G28	G32
MOMAN	-6173	-4203	-236	4574	-3944	-2524	4198	11 452
ROTUI	-9890	-7558	-2220	3473	-7279	-4152	3423	10 959
ROTFI	-10 326	-8582	-3147	2412	-6376	-2289	6710	17 320

Bilaga 5. Känslighetsanalys av produktivitetsökning för rotryckning för bestånd med SI G24

Kostnad kr/ha vid motormanuell röjning respektive rotryckning med procentuell justering av produktiviteten.

Justering	-10%	0%	+10%	+20%	+30%	+40%	+50%
Motormanuell	3694	3694	3694	3694	3694	3694	3694
Rotryckning södra Norrland	3799	3456	3176	2942	2744	2575	2428
Rotryckning Götaland	4421	4068	3779	3538	3334	3160	3009

Bilaga 6. Känslighetsanalys av kostnadsökning för motormanuell röjning för bestånd med SI G24

Kostnad kr/ha vid motormanuell röjning respektive rotryckning med procentuell justering av timkostnad för röjning.

Justering	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
Motormanuell	2955	3325	3694	4063	4433
Rotryckning södra Norrland	3456	3456	3456	3456	3456
Rotryckning Götaland	4068	4068	4068	4068	4068

Bilaga 7. Känslighetsanalys av produktivitetsökning för rotryckning för bestånd med SI T28

Kostnad kr/ha vid motormanuell röjning respektive rotryckning med procentuell justering av produktiviteten.

Justering	-10%	0%	+10%	+20%	+30%	+40%	+50%
Motormanuell	3454	3454	3454	3454	3454	3454	3454
Rotryckning södra Norrland	4030	3666	3369	3121	2911	2731	2576
Rotryckning Götaland	4553	4190	3892	3644	3435	3255	3099

Bilaga 8. Känslighetsanalys av kostnadsökning för motormanuell röjning för bestånd med SI T28

Kostnad kr/ha vid motormanuell röjning respektive rotryckning med procentuell justering av timkostnad för röjning.

Justering	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
Motormanuell	2763	3109	3454	3799	4145
Rotryckning södra Norrland	3666	3666	3666	3666	3666
Rotryckning Götaland	4190	4190	4190	4190	4190